

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТНЫХ И ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВИГАТЕЛЯ СПОРТИВНОГО МОТОЦИКЛА С СИСТЕМОЙ ПЕРЕХОДА С 4-ТАКТНОГО НА 2-ТАКТНЫЙ ЦИКЛ РАБОТЫ

Москвичёв Роман Алексеевич, студент,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, e.d.u.a.r.d@inbox.ru.

Савастенко Эдуард Андреевич, канд. техн. наук, доц.,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, e.d.u.a.r.d@inbox.ru.

Аннотация. В статье рассматривается прототип четырехтактного бензинового двигателя спортивного мотоцикла, способный переключаться на 2-тактный цикл на низких и средних оборотах при полной нагрузке. С целью обеспечения наилучшей продувки в двухтактном режиме, двигатель должен быть оснащён компрессором. Двигатель позволяет улучшить скоростные характеристики, а именно мощность и крутящий момент на низких частотах вращения, а также динамические показатели самого мотоцикла (разгон от 0 до 100 км/ч). По расчётной методике удалось определить, что мощность мотоцикла вырастет в 1,5 раза на низкой частоте вращения, а разгон уменьшится на 0,62 сек. Данные были получены на базе расчётных модулей, разработанных в МАДИ. Сходимость результатов была проверена на прототипе двигателя 2/4Sight.

Ключевые слова: форсирование, четырёхтактный ДВС, крутящий момент, двухтактный ДВС, бензиновый двигатель.

DETERMINATION OF SPEED AND DYNAMIC CHARACTERISTICS OF A SPORTS MOTORCYCLE ENGINE WITH A SYSTEM FOR SWITCHING FROM A 4-STROKE TO A 2-STROKE CYCLE OF OPERATION

Moskvichev Roman A., student,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, e.d.u.a.r.d@inbox.ru

Savastenko Eduard A., Ph. D., associate professor,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, e.d.u.a.r.d@inbox.ru

Abstract. The article examines a prototype sports motorcycle four-stroke gasoline engine capable of switching to a 2-stroke cycle at low and medium revs under full load. The engine must be equipped with a compressor in order to ensure the best purge in two-stroke mode. The engine improves speed characteristics, namely power and torque at low speeds, as well as the dynamic performance of the motorcycle itself (acceleration from 0 to 100 km/h). According to the calculation method, it was possible to determine that the power of the motorcycle will increase by 1.5 times at a low speed, and the acceleration will decrease by 0.62 sec. The data were obtained on the basis of calculation modules developed at The Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI). The consistency of the results was tested on a prototype 2/4-Stroke engine.

Key words: forcing, four-stroke internal combustion engine, torque, two-stroke internal combustion engine, gasoline engine.

Введение

В современном мире в автомобилях используются в основном четырёхтактные ДВС. Такое обширное применение 4-тактных ДВС не случайно – они имеют ряд преимуществ в сравнении с 2-тактным ДВС:

- высокие показатели экологичности и экономичности;
- более высокие скоростные и тяговые характеристики;
- меньшая тепловая напряжённость деталей цилиндрико-поршневой группы;
- высокие показатели коэффициента наполнения и очистки цилиндров от отработавших газов. [1]

Но существует один весомый недостаток – низкие показатели мощности и крутящего момента в области низкой частоты вращения.

Существует несколько способов устранить данный недостаток:

1. Регулировка фаз газораспределения во время рабочего процесса.
2. Применение газотурбинного наддува.
3. Применение механического компрессора.

Разработан прототип двигателя, который во время работы переключается с 4-х тактов на 2-тактный режим прямо во время работы при помощи блока управления и электро-гидравлических клапанов.

Этот двигатель спроектирован и разработан компанией «Ricardo» и называется он «2/4 SIGHT». Он имеет непосредственный впрыск топлива, а также специальную конфигурацию впускных и выпускных каналов. Также каждый клапан каждого цилиндра имеет индивидуальное управление. Такая система позволяет переходить с 4-тактного режима работы на 2-тактный в области низкой частоты вращения двигателя для увеличения показателей мощности и крутящего момента [2].

Основная часть

Рассмотрим двигатель 4ЧН 6,7/4,3 спортивного мотоцикла, оснащённый аналогичной системой для улучшения динамических характеристик и показателей разгона от 0 до 100 км/ч. Стоит отметить, что данный двигатель будет оснащён механическим компрессором для улучшения продувки на 2-тактном режиме. При переключении же на 4-тактный режим компрессор будет отключаться за счёт электромагнитной муфты.

Исследование проводится в несколько этапов:

- произвести тепловой расчёт для 4-тактного режима и построить по ней ВСХ;
- провести тепловой расчёт для 2-тактного режима и построить ВСХ, где 2-тактный режим будет активен до 6000 мин^{-1} ;
- совместить два графика ВСХ методом аппроксимации и провести анализ;
- провести тяговый расчёт для 4-тактного режима и для совмещённого режима работы 2-тактного и 4-тактного для исследования динамических характеристик спортивного мотоцикла.

Тепловой расчёт будет проводиться при помощи расчётного модуля «Тепловой расчёт», разработанного на кафедре ТиАТД в МАДИ.

Чтобы произвести тепловой расчёт на 2-тактном режиме, необходимо задаться другими исходными данными:

- давление на впуске p_k , будет выше за счёт работы компрессора;
- температура на впуске T_k также будет больше за счёт работы компрессора;
- скорость движения заряда в сечении клапана $v_{кл}$ также будет больше за счёт действия компрессора;
- коэффициенты дозарядки и очистки будут выше;
- геометрическая степень сжатия будет такая же, но изменится фактическая степень сжатия, за счёт того, что будет осуществляться продувка.

2. Процесс впуска			
Исходные данные			
0,10	p_0	Атмосферное давление	[МПа]
0,11	p_k	Давление на впуске	[МПа]
300	T_k	Температура на впуске	[К]
3,0	$(\beta^2 + \zeta)$	Коэффициент гашения скорости сопротивления системы	[-]
105	$v_{кл}$	Скорость движения заряда в сечении клапана	[м/с]
1,20	p_r/p_k	Отношение p_r/p_k	[-]
980	T_r	Температура остаточных газов	[К]
5,0	ΔT	Степень подогрева свежего заряда	[К]
1,09	φ_1	Коэффициент дозарядки	[-]
287	R_v	Удельная газовая постоянная воздуха	[Дж/(кг К)]
1,00	$\varphi_{оч}$	Коэффициент очистки	[-]

Рис.1. Фрагмент расчётного модуля «Тепловой расчёт»

Данные подбирались исходя из анализа графика, представленного на рис.2 [2] и на основе существующих данных об 2-тактных двигателях [3].

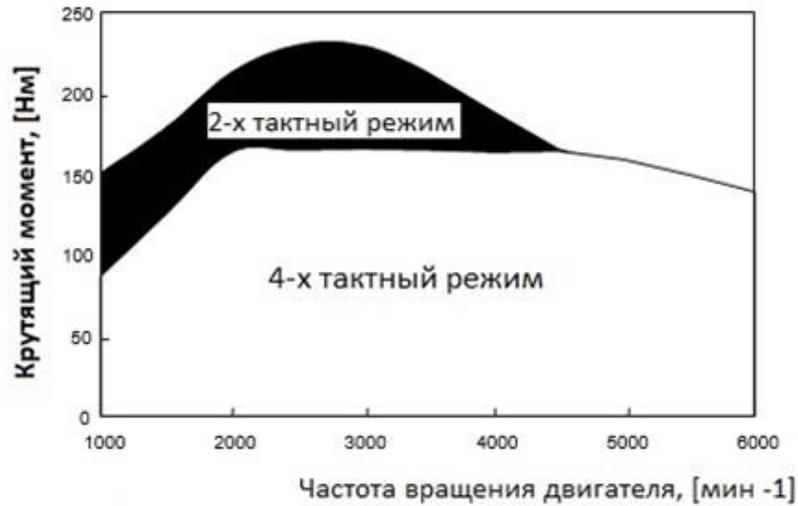


Рис.2. ВСХ двигателя «2/4 SIGHT»

По результатам проведённых расчётов строится совмещённая ВСХ.

Формулы для расчёта:

$$N_{ex} = N_{emax} \cdot \left[\left(0,053 \left(\frac{n_x}{n_{max}} \right) + 2,993 \left(\frac{n_x}{n_{max}} \right)^2 - 2,046 \left(\frac{n_x}{n_{max}} \right)^3 \right) \right]$$

$$M_{kx} = \frac{9550 \cdot N_{ex}}{n_x}$$

где 0,052; 2,993; 2,046 – коэффициенты, которые были получены путём аппроксимации графиков ВСХ двигателей спортивных мотоциклов в [4].

На рисунке 3 представлена построенная ВСХ. Анализируя график, можно увидеть, что показатели мощности и крутящего момента выросли в среднем в 1,5 раза, а это значит, что исследуемая на прототипе система эффективна, и расчётная методика верна, т.к. ВСХ схожа с прототипом 2/4Sight.

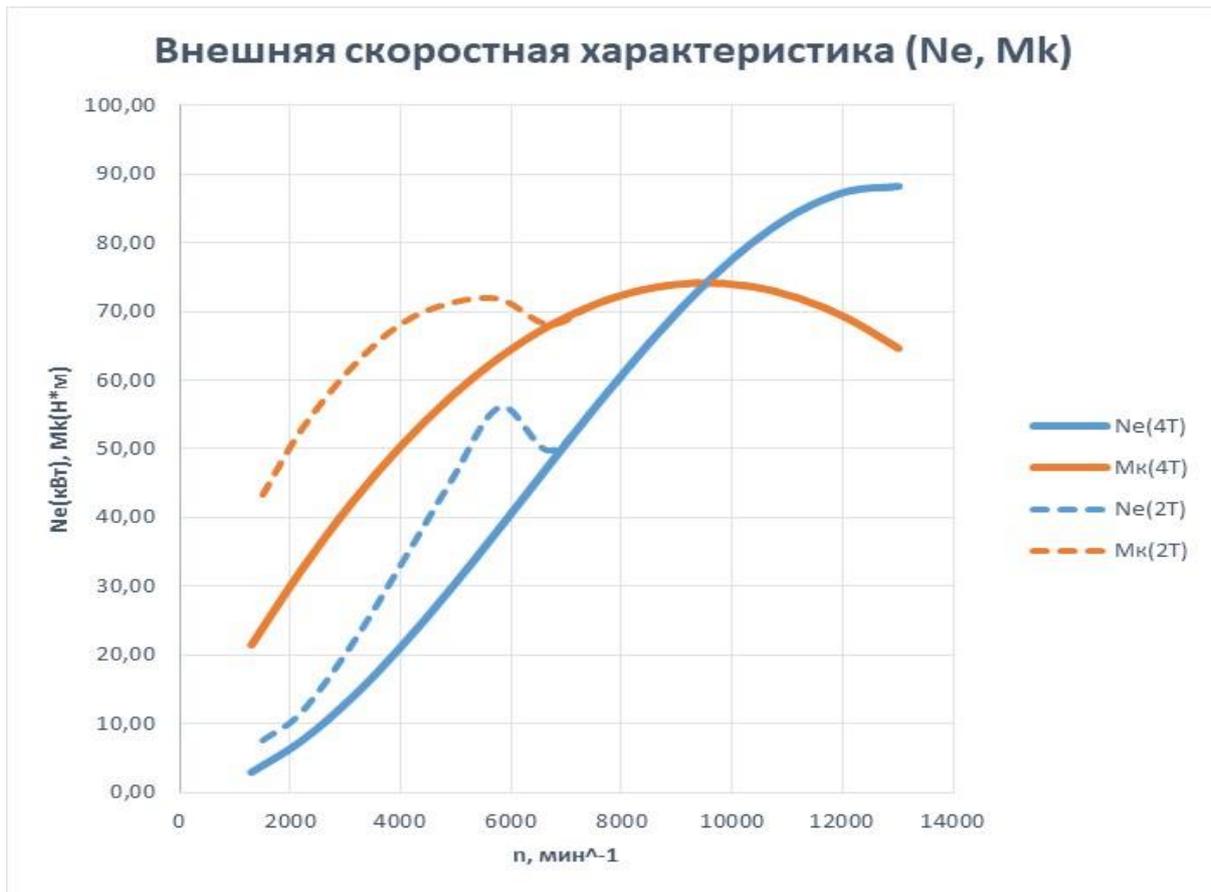


Рис.3. Совмещённая ВСХ двигателя 4ЧН 6,7/4,3 на 2/4-тактном режиме

Далее производится тяговый расчёт. В данной статье освещаются только основные формулы в силу того, что расчёт громоздкий и объёмный.

Исходными данными являются: масса мотоцикла, передаточные числа в коробке передач, передаточное число главной пары, габариты мотоцикла, радиус колеса и тд.

Основные формулы тягового расчёта:

- Крутящий момент на ведущем колесе

$$M_{kn} = \eta_{тр} \cdot M_k \cdot i_{кп_n} \cdot i_{гп}$$

- Сила тяги Pt

$$P_{Ti} = \frac{M_{ki}}{R_k}$$

- Силы сопротивления воздуха и дороги
- Динамический фактор мотоцикла

$$D_i = \frac{(P_{Ti} - P_{Bi})}{G_m}$$

- Ускорение мотоцикла

$$j_i = \frac{D_i - \psi}{\left(\frac{g}{\delta_i}\right)}$$

Расчёт производится для каждой промежуточной точки на каждой из передач.

Результатом проведения тягового расчёта является график ускорения мотоцикла на заданных передачах, который представлен на рис. 4.

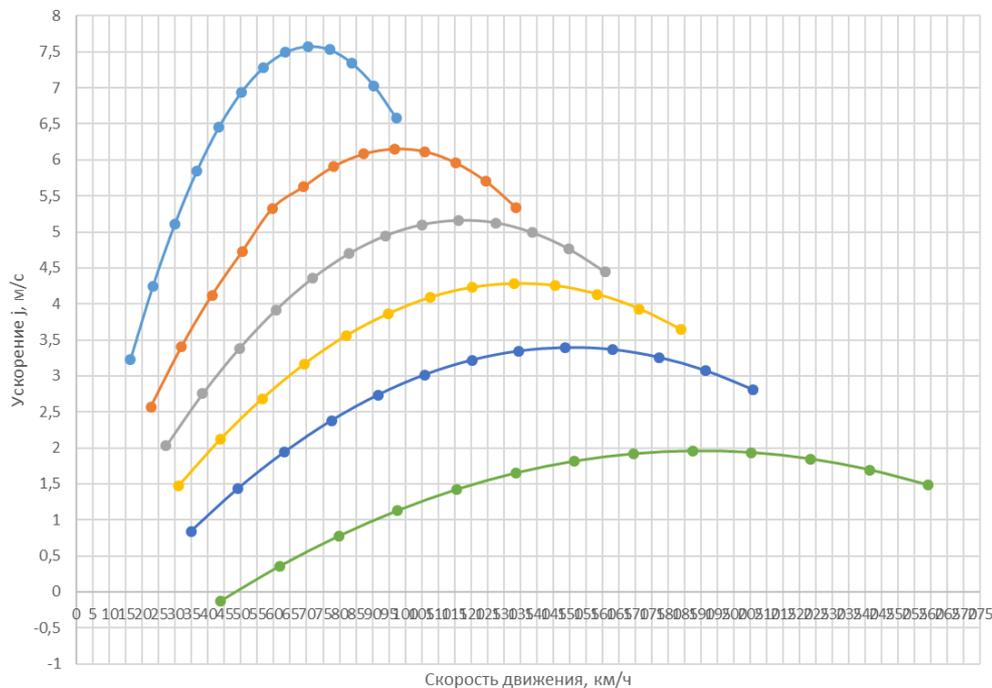


Рис.4. Ускорение мотоцикла на заданных передачах

Далее графоаналитическим способом находится время ускорения от 0 до 100 км/ч и путь, который при этом пройден.

Расчётные формулы:

$$t_{cp} = \frac{\Delta V_M}{3,6 \cdot (0,5 \cdot (j_H + j_K))}$$

$$S_p = \frac{(0,5 \cdot (V_H + V_K)) \cdot t_{cp}}{3,6}$$

По результатам анализа (рис.4) получается, что мотоцикл ускоряется от 0 до 100 км/ч за 3,85 с, проезжая при этом расстояние 56,45 м.

После этого производится второй тяговый расчёт, используя исходные данные из графика 2/4-тактного режима работы. Методика расчёта ничем не отличается от упомянутой выше и в данной статье не рассматривается. По результатам второго тягового расчёта строится график ускорений на заданных передачах, представленный на рис.5.

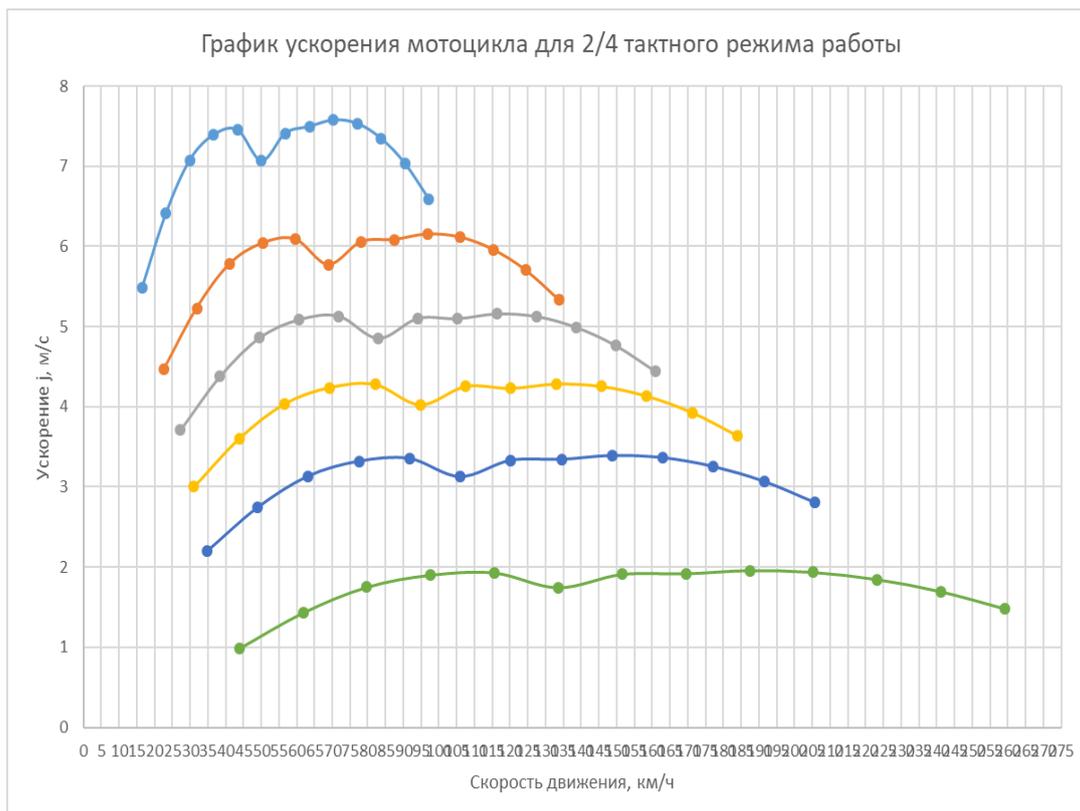


Рис.5. График ускорения мотоцикла на заданных передачах при совмещённом режиме работы 2/4 тактов

Проанализировав график и произведя расчёт по формулам, получаем, что время разгона мотоцикла составило 3,23 с, при этом преодолев расстояние 49,84 м.

Выводы

Была разработана расчётная методика для перевода 4-тактного двигателя на 2-тактный цикл в процессе работы, позволяющая проверить сходимость результатов с опубликованными данными двигателя 2/4Sight.

Установка системы перехода с 4-тактного режима на 2-тактный в области низкой частоты вращения на двигатель 4ЧН 6,7/4,3 позволяет:

1. Увеличить показатели мощности и крутящего момента в 1,5 раза в области низких частот вращения.
2. Повысить динамические характеристики спортивного мотоцикла: уменьшить время разгона от 0 до 100 км/ч на 0,62 (16%) и сократить пройденное при разгоне расстояние на 6,6 м (11%).

Список литературы

1. Луканин, В.Н. Двигатели внутреннего сгорания / В.Н. Луканин, М.Г. Шатров и др. – 3-е изд. перераб. – М.: Высшая школа, -. Том 1
2. R J Osborne, J Stokes, T H Lake, P J Carden and J D Mullineux Development of a Two-Stroke/Four-Stroke Switching Gasoline Engine – The 2/4SIGHT Concept. SAE Technical Paper 2005-01-1137.
3. Орлин, А.С., Комбинированные двухтактные двигатели / А.С. Орлин, М.Г. Круглов. – М.: «Машиностроение», 1968. – 576 с.
4. Камышников, Р. О. Разработка методики и программы тягового расчета для спортивного высокооборотного мотоцикла / Р.О. Камышников, Э.А. Савастенко // Автомобиле- и тракторостроение в России: Приоритеты развития и подготовки: материалы Международной научно-технической конференции Ассоциации автомобильных инженеров (ААИ), посвященной 145-летию МГТУ МАМИ. – М.: МГТУ «МАМИ», 2010. – Книга 1. – С. 148-154.

References

1. Lukanin V.N. Shatrov M.G., et al. *Dvigateli vnutrennego sgoraniya* (Internal combustion engines), Vol. 1, Moscow, Vysshaya shkola, 2007.
2. R J Osborne, J Stokes, T H Lake, P J Carden and J D Mullineux Development of a Two-Stroke/Four-Stroke Switching Gasoline Engine – The 2/4SIGHT Concept. SAE Technical Paper 2005-01-1137.
3. Orlin A.S., Kruglov M.G. *Kombinirovannyye dvukhtaknyye dvigateli* (Combined two-stroke engines), Moscow, Mashinostroyeniye, 1968, 576 p.
4. Kamysnikov R. O. Savastenko E.A. Materials Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii Assotsiatsii avtomobil'nykh inzhenerov (AAI) "Avtomobile i traktorostroyeniye v Rossii: Prioritety razvitiya i podgotovki ", posvyashchennoy 145-letiyu MGTU MAMI, Moscow, MGTU «МАМИ», 2010, P. 148-154.

Рецензент: М.Г. Шатров, д-р техн. наук, проф., МАДИ